

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-296632
 (43)Date of publication of application : 09.10.2002

(51)Int.CI. G02F 1/37
 G02F 1/01

(21)Application number : 2001-103552 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
 <NTT>

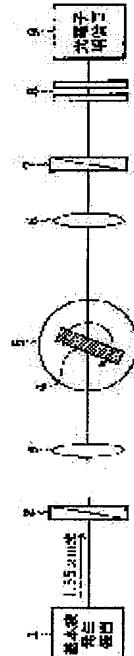
(22)Date of filing : 02.04.2001 (72)Inventor : FUJIURA KAZUO
 YAGI IKUTAKE
 IMAI KANEYUKI
 ENBUTSU KOUJI
 SASAURA MASAHIRO
 KURIHARA TAKASHI
 ABE ATSUSHI
 TOYODA SEIJI
 KUBOTA HIDESHI

(54) WAVELENGTH CONVERTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To achieve high-efficiency and low-noise wavelength conversion without poling of a crystal and allow switching and modulating by an electric field of a converted light.

SOLUTION: A KLTN crystal 4 is a plate having a thickness of 0.5 mm that both sides are optically polished, has electrodes that gold is deposited and provided in an entrance plane, and is connected from the electrodes to a DC power supply by using copper wires. The crystal material is the crystal having a composition of $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ and/or $\text{K}_{1-y}\text{Li}_y\text{Ta}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$. A fundamental wave generated by a fundamental wave generating apparatus 1 uses a light of $1.55 \mu\text{m}$ which is a differential frequency between a Q switch laser of Nd: YAG and an excimer laser, controls a polarized wave in a parallel direction to the electric field by using a polarizer 2, and enters between the electrodes of the KLTN crystal 4. The KLTN crystal 4 rotates a direction of the electric field on an axis. A part of a generated SHG light having the same polarized direction as that of an incident light enters into a photomultiplier 8 through a polarizer 7.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3623749

[Date of registration] 03.12.2004

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-296632

(P2002-296632A)

(43)公開日 平成14年10月9日 (2002.10.9)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 2 F 1/37
1/01

識別記号

F I
G 0 2 F 1/37
1/01

テマコード(参考)
2 H 0 7 9
Z 2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数7 O.L (全8頁)

(21)出願番号 特願2001-103552(P2001-103552)

(22)出願日 平成13年4月2日 (2001.4.2)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 藤浦 和夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 八木 生剛

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

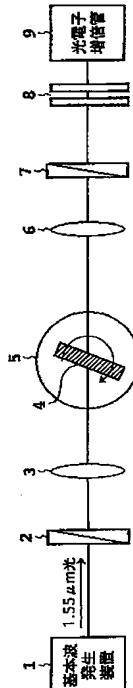
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長変換デバイス

(57)【要約】

【課題】 高効率・低ノイズ波長変換を結晶のポーリングを行うことなく実現でき、変換光の電界によるスイッチングおよび変調を可能とすること。

【解決手段】 KLTN結晶4は、両面を光学研磨した0.5mm厚の板であり、入射面内に金を蒸着した電極を有しており、電極から銅線を用いて直流電源に接続している。この結晶材料は、 $K_{1-x}Ta_xNb_xO_3$ 及び/又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ なる組成を有する結晶である。基本波発生装置1により発生された基本波は、Nd:YAGのQスイッチレーザとエキシマレーザの差周波による1.55μm光を用い、偏光子2により電界と平行な方向に偏波を制御し、KLTN結晶4の電極間に入射する。KLTN結晶4は、電界の方向を軸に回転し、発生したSHG光を偏光子7を介して入射光と同じ偏光方向の光のみを光電子増倍管8に入射する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 結晶材料に入射する信号光と、該信号光と異なる波長のポンプ光を同時に入射することにより、前記信号光とポンプ光のエネルギー差に対応する波長の変換光を得る波長変換デバイスにおいて、前記結晶材料が、 $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ 及び／又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ なる組成を有する結晶であることを特徴とする波長変換デバイス。

【請求項2】 前記結晶材料に電界を印加することにより波長変換機能を誘起することを特徴とする請求項1に記載の波長変換デバイス。

【請求項3】 前記結晶材料に印加する電界を変調することにより変換光を変調することを特徴とする請求項1に記載の波長変換デバイス。

【請求項4】 前記結晶材料に前記信号光とポンプ光の間に疑似位相整合条件が成立する電極幅を有する櫛形電極を具備することを特徴とする請求項1, 2又は3に記載の波長変換デバイス。

【請求項5】 前記電極において少なくとも2つ以上の異なる周期を有する電極を具備することを特徴とする請求項1乃至4いずれかに記載の波長変換デバイス。

【請求項6】 前記結晶材料に印加する電界が、少なくとも2つの異なる方向に印加される電極構造を有することを特徴とする請求項1乃至4いずれかに記載の波長変換デバイス。

【請求項7】 前記組成の異なる $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ 及び／又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ で作製された屈折率の高いコアと屈折率の低いクラッドを具備することを特徴とする請求項1乃至5いずれかに記載の波長変換デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信や光計測に用いられる波長変換デバイスに関し、より詳細には、高効率かつ低ノイズな波長変換が必要な光信号処理に利用可能である波長変換デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、波長可変レーザとして、高出力なレーザ光を種々の結晶や液体、気体媒質に照射することによって、レーザ光の発振していない波長域に変換したり、広い領域で波長可変の光源にすることができる。この技術は一般に非線形光学技術を言われている。この非線形光学技術として、2次の非線形光学効果を利用した波長変換素子の材料としては、無機結晶が多くの波長変換素子に使用されているのが現状である。

【0003】 この種の波長変換素子を実現するには、材料の非線形光学定数を有効に利用するため、導波路型とする場合が多い。波長変換デバイスとしてこれまで提案されているものには、光半導体の相互利得変調や相互位相変調、四光波混合（3次の非線形分極を利用した光混

合）がある。

【0004】 また位相整合法は、無機材料 KTP 、 $LiNbO_3$ で有効な方法とされており、基本波による非線形分極波と発生した伝搬高周波との打ち消しが生じない疑似位相整合を用いることも提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 現在、主に開発が進められている光半導体を用いる波長変換では、光半導体の自然放出光による雑音が大きく、キャリアの移動による

速度制限があり、高速で低ノイズが必要とされる光通信や光計測分野では利用できない。また、高速・低ノイズ波長変換デバイスとして $LiNbO_3$ の疑似位相整合デバイスが提案されているが、変換効率が十分ではなく、必要とする変換効率を得るためにには 5 cm 以上の相互作用長を必要とするという欠点があり、結晶の方位によって変換効率が大きく異なるという偏波依存性があるという問題点があった。

【0006】 さらに、疑似位相整合のための分極反転には、高電圧をかけたボーリングを必要とされ、歩留まりが低いという問題もあった。さらに、ボーリングによって形成する分極反転は特定の波長に位相整合するよう形成されるため、ポンプ光の波長は固定する必要があった。

【0007】 本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、高効率・低ノイズ波長変換を結晶のボーリングを行うことなく実現でき、変換光の電界によるスイッチングおよび変調を可能とする波長変換デバイスを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、結晶材料に入射する信号光と、該信号光と異なる波長のポンプ光を同時に入射することにより、前記信号光とポンプ光のエネルギー差に対応する波長の変換光を得る波長変換デバイスにおいて、前記結晶材料が、 $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ 及び／又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ なる組成を有する結晶であることを特徴とするものである。

【0009】 また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記結晶材料に電界を印加することにより波長変換機能を誘起することを特徴とするものである。

【0010】 また、請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記結晶材料に印加する電界を変調することにより変換光を変調することを特徴とするものである。

【0011】 また、請求項4に記載の発明は、請求項1, 2又は3に記載の発明において、前記結晶材料に前記信号光とポンプ光の間に疑似位相整合条件が成立する電極幅を有する櫛形電極を具備することを特徴とするも

のである。

【0012】また、請求項5に記載の発明は、請求項1乃至4いずれかに記載の発明において、前記電極において少なくとも2つ以上の異なる周期を有する電極を具備することを特徴とするものである。

【0013】また、請求項6に記載の発明は、請求項1乃至4いずれかに記載の発明において、前記結晶材料に印加する電界が、少なくとも2つの異なる方向に印加される電極構造を有することを特徴とするものである。

【0014】また、請求項7に記載の発明は、請求項1乃至5いずれかに記載の発明において、前記組成の異なる $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ 及び／又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ で作製された屈折率の高いコアと屈折率の低いクラッドを具備することを特徴とするものである。

【0015】つまり、本発明では、波長変換を実現する媒体として $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ および／あるいは $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ なる組成を有する結晶を用いる。これらKTNならびにKLTN結晶は、使用温度域で立方晶であり、波長変換に不可欠な非線形光学効果を有していないが、電界を印加することで、2次の非線形効果を発現するという特徴を有している。

【0016】この非線形光学効果の効率は、印加する電界に比例して増加し、かつ実用的な印加電界の範囲で既存の非線形光学結晶である $LiNbO_3$ の2倍以上の効率が実現できる。従って、既存のLNの波長変換デバイスと同じ相互作用長で有れば4倍以上の効率、同じ効率ならば1/2以下の相互作用長で波長変換を実現できる。さらに、電界を印加しない場合はKTNおよびKLTN結晶は、単なる透明媒質であり、信号光に何ら変化を与えない。すなわち、電界のON-OFFによって変換光をON-OFFできるという機能を持たせることができあり、さらに印加電界を変調すれば、変換光を変調できる。

【0017】また、LN結晶は三方晶であり、最も高い非線形効果を得るには、c軸と入射光の偏光を合致させる必要があり、疑似位相整合もc軸方向の自発分極を反転させることで実現されている。したがって、LNの波長変換デバイスでは、作製された疑似位相整合の方向で変換可能な光の偏波方向が規定され、その他の偏光では変換されない。一方、KTNおよびKLTNは等方的な結晶であり、電界の印加方向に非線形性が発現するため、例えば電極を直交する2方向に電界がかかるような構成とすれば容易に偏波無依存の波長変換デバイスが実現できるという利点がある。

【0018】また、LNで必要とする結晶のボーリングも不要で、電極を形成で容易に疑似位相整合を実現できるという利点もある。これは、異なる周期の電極を数種類、結晶表面上に形成しておけば、その周期に応じたポンプ光の波長を選択することが可能であり、波長変換

デバイスに機能を付与することが可能である。さらに、本発明で用いる波長変換の原理は、2次の非線形効果である差周波発生によるものであり、THz以上の高速性と原理的にノイズフリーという利点もあり、光半導体を用いる波長変換では実現できない性能を実現できる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

【0020】[実施例1]本実施例では、KLTN結晶材料を用いて第2次高調波を発生させることにより、KLTN結晶材料の波長変換能力を確認する。

【0021】図1は、KLTN結晶を用いた第2次高調波発生の構成例を示す図で、KLTN結晶は、両面を光学研磨した0.5mm厚の板であり、入射面内に金を蒸着した電極を有しており、電極から銅線を用いて直流電源に接続している。また、この結晶材料は、 $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ 及び／又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ なる組成を有する結晶である。

【0022】基本波発生装置1により発生された基本波は、Nd:YAGのQスイッチレーザとエキシマレーザの差周波による1.55μm光を用い、偏光子2により電界と平行な方向に偏波を制御し、レンズ3を介して回転ステージ5に搭載されたKLTN結晶4の電極間に入射している。KLTN結晶4は、電界の方向を軸に回転し、発生したSHG(Second Harmonic Generation)光を、レンズ6を介して偏光子7を通して、さらにフィルタ8を介して入射光と同じ偏光方向の光のみを光電子増倍管8に入射している。

【0023】この方法により、発生するSHG光の入射角依存性を測定した。同様のセットアップで、X-cutのLNのZ軸方向に基本波を入射し、SHG光を測定し、KLTNのSHG光強度と比較した。その結果は図2に示されている。図中aは、実施例1のKLTN結晶からの第2次高調波、bは標準試料として用いたLNからの第2次高調波を各々示している。この図2に示すように、電界を印加したKLTN結晶から明らかにSHG光aが発生し、この結晶が電界の印加により波長変換機能を有していることが明らかとなった。

【0024】この図2に示されているSHG光強度の角度依存性は、結晶の非線形性のコヒーレント長と基本波の相互作用長の関係によるものであり、そのピーク間隔から、KLTN内部に形成されている有効な電界の深さが推定できる。この場合は、約0.2mmと推定できる。1KV/cmの電界の印加により得られたSHG強度はLNの約10倍であり、非線形定数に換算して約79pm/Vに対応する。これは従来報告されている非線形光学結晶のうち、最も高い非線形定数である。

【0025】また、上述した測定で電極作製していない面に、上述した電極と直交するように電極を配置し、両面の電極に1KV/cmの電界を印加し、基本波を垂直

入射した。この場合、直交する2つの偏波に対して、同じ強度のSHG光が観測でき、KLTN結晶が、電界の印加方向により、任意の偏波を有する信号光の波長変換が可能であることを明らかにした。

【0026】さらに、図3に、電界のON-OFFして測定したSHG光強度の時間変化を示す。図3から明らかなように、電界の印加によりSHG光が発生し、OFFすることにより消失していることがわかる。従って、電界を印加しない場合、KLTN結晶は単なる透明な媒体として働き、電界のON-OFFで変換光をON-OFFできるスイッチとしての機能を有することがわかる。さらに非線形定数が印加電圧に比例して変化することから、単なるスイッチとしてではなく、電界で変換光強度を変調できることも明らかである。

【0027】[実施例2]フォトリソグラフィーと液相エビタキシー技術を用いて、矩形の導波構造を作製した。作製したKLTN導波路13の屈折率差は2.5%であり、高次モードのカットオフ波長は0.6μmである。これにより長波長は单一モード導波路として機能する。作製した導波路長は3cmであり、導波路の損失は0.15dB/cmであった。

【0028】このようにして作製された波長変換デバイスを図4に示す。基板15は導電性のあるLa添加のSrTiO₃を用い、上部電極14には金蒸着されている。電極のピッチは、0.775μmをポンプ光として1.55μm帯の波長変換するために必要な疑似位相整合を実現するグレーティングピッチに対応している。この場合、電極ピッチは12μmとなる。電極に1KV/cmに対応する電圧を印加し、入射端から偏波保持ファイバを用いて、1.54μmの信号光と0.775μmのポンプ光を同時に入射し、出射光を、光スペクトラムアナライザを用いて測定した。

【0029】図5は、波長変換後のスペクトルを示す図で、図中符号cは入力信号光、dはポンプ光の2次回折光、eは変換光を示している。この図5から明らかなように、差周波発生による波長変換が実現されていることが明らかである。さらに、信号光および変換光はパラメトリック增幅されており、入力信号光に対する変換光の利得は約15dBに達している。これは、従来のLNの波長変換デバイスでは実現できない、高い利得を示している。また、この場合の変換効率も印加電界の強度で変化させることができあり、電界をOFFにすると信号光のみが出力される。さらに、ポンプ光強度を一定にし、入力信号光強度を変化させ、出力信号光強度をモニターしながら出力変換光強度が一定になるよう、電界を制御することも可能であった。

【0030】本実施例では、KLTNを導波路に用いたが、KTNを導波路に用いても同様の波長変換が実現できた。KTN導波路はKLTN導波路に比べ、温度に対して敏感に効率が変化するという傾向があった。

【0031】[実施例3]上述した実施例2で用いた波長変換デバイスに、図6に示すような電極を付加したデバイスを作製し、実施例2と同様の波長変換の実験を行った。図中符号19はKLTN導波路、20はTM偏波を変換するためのTM偏波用上部電極、21はTE偏波を変換するためのTE偏波用電極、22は、TM偏波用下部電極および基板として用いたLa添加SrTiO₃である。今回は、TE-TM両偏波について、波長変換特性を測定した。

10 【0032】図9(a), (b)は、各電極の導波路と垂直な断面図を示した図で、図(a)はTM偏波用の電極配置、図(b)はTE偏波用の電極配置を各々示している。図中符号31は基板、32は導波路を示している。電界分布が電極構成により異なるため、TE-TMで同じ変換効率を得るには、TE偏光はTM偏光の約1.5倍の電界を必要とした。しかし、印加電界を調整することにより、容易に偏波無依存の波長変換が実現できた。また、電界のON-OFFにより、一方の偏波のみの波長変換を実現することも可能であった。

20 【0033】[実施例4]上述した実施例3で使用したデバイスとほぼ同様の構成で、周期の異なる電極を4種類、導波路の長手方向に作製したデバイスを用いて波長変換の実験を行った。図7は、このようにして作製された波長変換デバイスの構成を示す図で、図中符号23はKLTN導波路、24は上部電極、25は下部電極および基板として用いたLa添加SrTiO₃である。

【0034】それぞれの周期で位相整合するポンプ波長は、0.770、0.772、0.774、0.776μmである。信号光として1.53μmの波長を選択した。この4波長のポンプ光および1波長の信号光を導波路に入射した。上述した4種類の電極に1KV/cmに対応する電圧を順番に印加し、変換光をスペクトラムアナライザで測定した。その結果の波長変換スペクトルは図8に示されている。これによれば変換光は電圧を印加する電極を変えることにより、変換する波長が順次変化することがわかる。また、電気的に変換する波長を制御した波長変換デバイスとして機能することがわかる。また、電圧を数種類の電極に印加することで、数種類の波長に同時に変換することが可能である。これはマルチキャスト等に使用する波長変換デバイスとして、利用が可能であることが明らかである。

30 【0035】なお、E1～E4を全てONにした場合、E1による変換で発生した1552nmの光がさらにE2やE3で変換を受けて波長の異なる光が発生するが、図8に示した波長変換スペクトルでは、それら多重変換によって発生する光はフィルタによってカットした結果を示している。

【0036】[実施例5]上述した実施例3で用いた波長変換デバイスを用い、160Gbit/sに変調された信号光(1.543μm)と0.775μmのポンプ光

(CW光)を用いて波長変換を行い、雑音指数の測定を行った。光学的ならびに電気的に測定した雑音指数は0.5dB以下であり、波長変換による雑音の増加は認められなかった。このように、光半導体を用いる波長変換デバイスでは応答不可能な高速な信号に対しても応答可能で、かつノイズフリーな波長変換が実現出来ることが明らかになった。

【0037】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、結晶材料に入射する信号光と、信号光と異なる波長のポンプ光を同時に入射することにより、信号光とポンプ光のエネルギー差に対応する波長の変換光を得る波長変換デバイスにおいて、結晶材料が、 $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ 及び/又は $K_{1-y}Li_yTa_{1-x}Nb_xO_3$ なる組成を有する結晶であるので、従来では実現できなかった高効率・低ノイズ波長変換を結晶のポーリングを行うことなく実現でき、さらに変換光の電界によるスイッチングおよび変調を可能とした。

【0038】さらに、従来では実現できなかった偏波無依存の波長変換も可能とした。これにより、光通信分野に利用される光ルーティングに不可欠な光信号処理が可能となり、簡易で安価な構成でルーターを実現できる。この波長変換は雑音が無く、多段に波長変換を繰り返しても信号の劣化が生じないと言う特徴があり、信号処理を繰り返し行うルーターなどに利用できる。さらに、光計測の分野では、超高速の光信号を高効率でDEMUXすることが可能になり、超高速光信号計測器が簡便な構成で作製できるという利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1における第2次高調波発生に用いた装置の構成図である。

【図2】実施例1における第2次高調波の発生例を示す図である。

【図3】実施例1において、印加電界をON-OFFして得られた第2次高調波を示す図である。

【図4】実施例2で作製した波長変換デバイスの構成例*

*を示す図である。

【図5】実施例2における波長変換後のスペクトルを示す図である。

【図6】実施例3で作製した波長変換デバイスの構成例を示す図である。

【図7】実施例4で作製した波長変換デバイスの構成例を示す図である。

【図8】実施例4における波長変換スペクトルを示す図である。

10 【図9】(a), (b)は、各電極の導波路と垂直な断面図を示した図で、(a)はTM偏波用の電極、(b)はTE偏波用の電極を各々示す図である。

【符号の説明】

1 基本波発生装置

2, 7 偏光子

3, 6 レンズ

4 試料

5 回転ステージ

8 フィルタ

9 光電子増倍管

13 KLTN導波路

14 上部電極

15 下部電極ならびに基板として用いたLa添加SrTiO₃

19 KLTN導波路

20 TM偏波用上部電極

21 TE偏波用電極

22 TM偏波用下部電極および基板として用いたLa添加SrTiO₃

23 KLTN導波路

24 上部電極

25 下部電極および基板として用いたLa添加SrTiO₃

31 基板

32 導波路

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

30

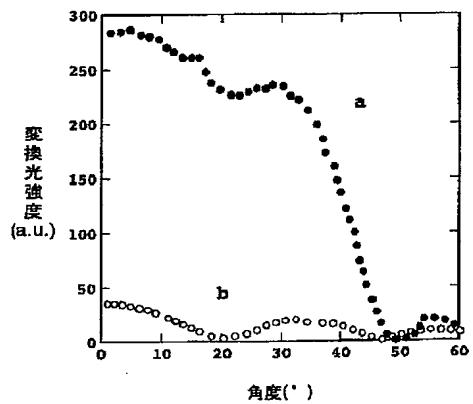
30

30

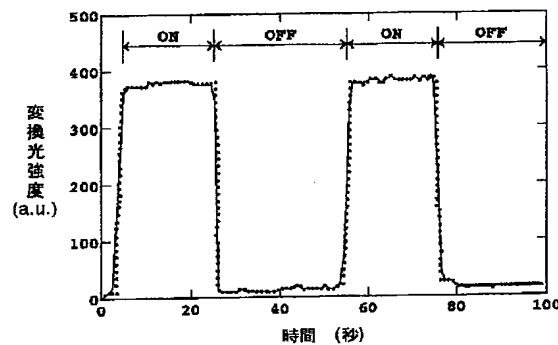
30

30

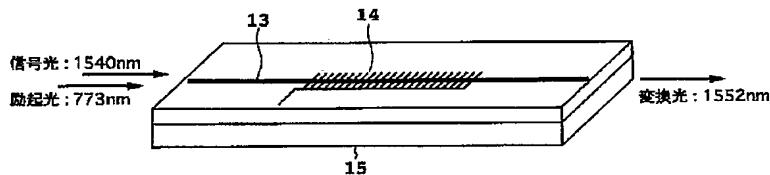
【図2】



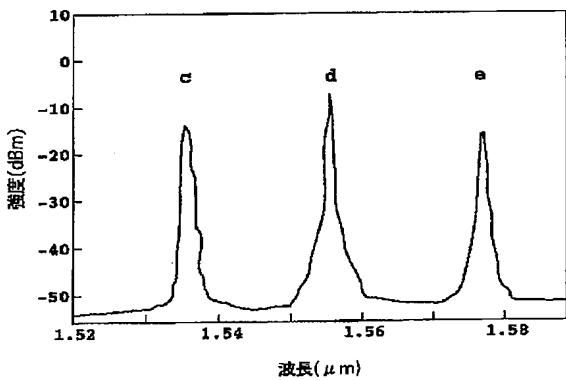
【図3】



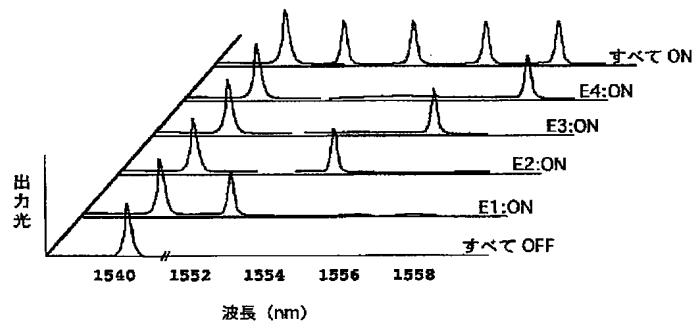
【図4】



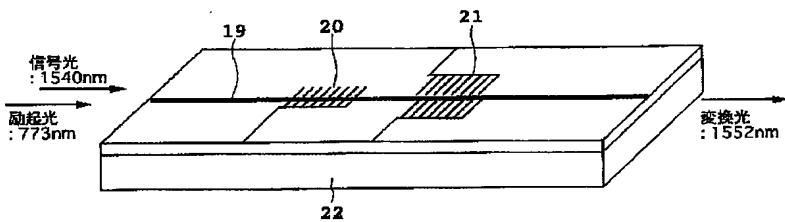
【図5】



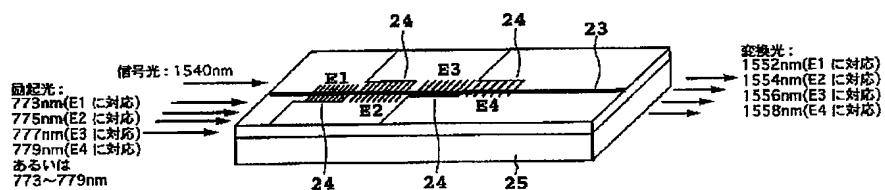
【図8】



【図6】

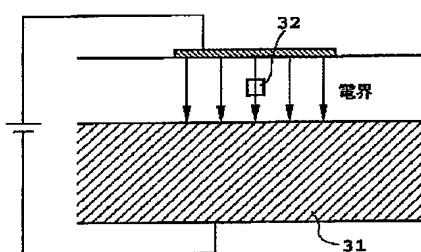


【図7】

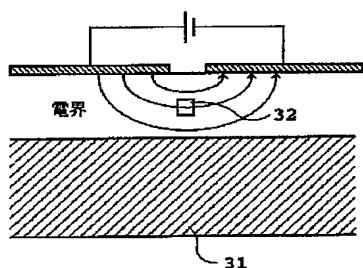


【図9】

(a) TM偏光用の電極配置



(b) TE偏光用の電極配置



フロントページの続き

(72)発明者 今井 欽之
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 圓佛 晃次
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 笹浦 正弘
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 粟原 隆
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 阿部 淳
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 豊田 誠治
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 久保田 英志
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2H079 AA02 AA14 BA01 BA04 CA04
CA11 DA03 EA03 EA11 EB14
HA11 KA05
2K002 AA02 AA04 AB08 AB12 BA01
BA06 CA03 DA01 DA06 EB07
GA10 HA20